

(19)

JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **03185402 A**

(43) Date of publication of application: **13.08.91**

(51) Int. Cl

G02B 5/28

(21) Application number: **01325245**

(22) Date of filing: **15.12.89**

(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>**

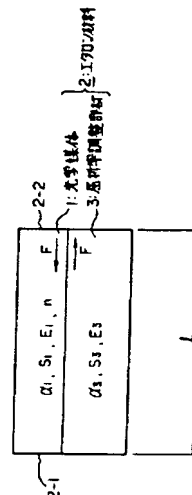
(72) Inventor: **TATSUTA MITSUHIRO
KONAKA TSUNEO
HORIGUCHI TSUNEO**

(54) **OPTICAL FREQUENCY FILTER**

(57) Abstract:

PURPOSE: To offset a change in refractive index by a temp. change and to allow spectral measurement with high accuracy by integrally joining an optical medium and a refractive index control member which generates thermal strains and thermal stresses by the temp. change.

CONSTITUTION: An etalon material 2 of the optical frequency filter is formed by joining and integrating, for example, a thermal glass as the optical medium 1 and, for example, quartz glass as the refractive index control member 3. Both the medium and the member have end faces 2-1, 2-2 parallel with each other. A material which generate the different thermal strains and thermal stresses at the time of the temp. change and can offset the change in the refractive index by the action of the optical medium 1 and the control member 3 on each other is selected for the refractive index control member 3. As a result, the change in the frequency of the transmitted light of the etalon material by the temp. change is eliminated and the spectral measurement with the high accuracy is executed without requiring an intricate temp. stabilizer.



COPYRIGHT: (C)1991,JPO&Japio

A

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平3-185402

⑬ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成3年(1991)8月13日

G 02 B 5/28

7448-2H

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全6頁)

⑮ 発明の名称 光周波数フィルタ

⑯ 特 願 平1-325245

⑰ 出 願 平1(1989)12月15日

⑱ 発 明 者 立 田 光 廣 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲ 発 明 者 小 中 庸 夫 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑳ 発 明 者 堀 口 常 雄 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

㉑ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉒ 代 理 人 弁理士 志賀 正武

明 細 書

1. 発明の名称

光周波数フィルタ

2. 特許請求の範囲

(1)入射端面と出射端面とが互いに平行で、温度変化により屈折率が変化する光学媒体に、温度変化により熱歪と熱応力を発生し、上記光学媒体の屈折率変化を相殺する屈折率調節部材を接合一体化してなることを特徴とする光周波数フィルタ

(2)光学媒体の外周面に屈折率調節部材を被覆してなることを特徴とする請求項1記載の光周波数フィルタ

3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は、特定の周波数帯をもつ光のみを通過させる光周波数フィルタに関するものである。

[従来技術とその課題]

光周波数フィルタは、光の吸収・放出現象をとらなう物性測定や光周波数多重通信における分波

素子として重要である。

従来の代表的な光周波数フィルタはファブリ・ペロー・エタロンと呼ばれているものであって、平行度の高い平面板の2つの反射面における光の多重反射現象を用いるものである。第6図はその原理説明図であって、符号1はエタロン材料である。エタロン材料2の屈折率を n 、厚さを l とすると、エタロン材料2の入射端面1-1上の1点Oから入射した波長 λ の光の一部は、光線OCA₁となってエタロン材料2を通過するが、一部はエタロン材料2内部で反射し、光線OCBA₂等の多重反射光を生じる。

1往復だけ光路差のある2つの出射光線の位相差 δ は、エタロン材料2内の屈折角 θ を用いて次式であらわされる。

$$\delta = 4 \pi n l \cos \theta / \lambda \quad \dots (1)$$

したがって透過率最大の条件は、 δ を任意の整数 m として、

$$\delta = 2 m \pi \quad \dots (2)$$

と示される。ここで光速度を C 、光周波数を ν と

すれば、

$$C = \nu \lambda \quad \dots (3)$$

の関係より、 n 次の透過光周波数 ν_n は次式であらわされる。

$$\nu_n = n C / 2 n \ell \cos \theta \quad \dots (4)$$

第7図はエタロン材料2の入射端面1-1と出射端面1-2における反射率Rを考慮して計算されたファブリ・ペロー・エタロンの透過特性を示したグラフであり、横軸は光の周波数、縦軸は透過率を示した。(M. Born and E. Wolf, Principles of Optics, 3d Ed. New York, Pergamon, 1965, Chap. 7より)

この理論特性は多くの実験によって確認されており、ファブリ・ペロー・エタロンはすぐれた光周波数フィルタとして広く用いられている。

しかしながらファブリ・ペロー・エタロンの透過光周波数 ν_n は温度変化の影響を受けやすく、高精度な温度安定化を必要とするという欠点があった。すなわち、上記(4)式から温度Tの変化の影響を求めると、

入射端面と出射端面とが互いに平行で、温度変化により屈折率が変化する光学媒体に、温度変化により熱歪と熱応力を発生し、上記光学媒体の屈折率変化を相殺する屈折率調節部材を接合一体化してなることを解決手段とした。

また本発明の請求項2記載の光周波数フィルタは、光学媒体の外周面に屈折率調節部材を被覆してなることを解決手段とした。

【作用】

本発明の光周波数フィルタは、光学媒体と屈折率調節部材とを一体化することにより、光学媒体単体の場合とは異なる熱歪と熱応力を発生させて、温度変化に由来するエタロン材料の屈折率変化 $(1/n)(\partial n / \partial T)$ の影響を相殺することを最も主要な特徴とし、高精度な温度制御を不必要とした点で従来技術と大きく異なる。

以下、本発明を詳細に説明する。第1図は本発明の光周波数フィルタの1例を原理を説明する概略図であって、符号2はエタロン材料である。このエタロン材料2は、光学媒体1と屈折率調節部

$$-(d\nu_n/dT)(1/\nu_n)$$

$$= (1/n)(\partial n / \partial T) + (1/\ell)(\partial \ell / \partial T) \quad \dots (5)$$

となり、さらにエタロン材料2として一般的に用いられている石英について考察すると、

$$(1/n)(\partial n / \partial T) \approx 7 \times 10^{-8}$$

$$(1/\ell)(\partial \ell / \partial T) \approx 5 \times 10^{-7}$$

の程度である。

今、ここで興味のある光周波数 ν_n が 2×10^{14} Hz ($\lambda = 1.5 \mu m$ に相当) とすると、 $d\nu/dT = -1.4 \times 10^8$ Hz となる。すなわち1℃の温度上昇により透過光周波数は 1.4 GHz も変化することとなる。このため例えば透過光周波数の安定性を 1 MHz 以下にするためには、 $1/10000$ 以下の温度安定性を必要としていた。

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであって、温度変化に対する透過光の周波数変化が小さく、簡易な温度制御のみで安定に動作する光周波数フィルタを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

本発明の請求項1記載の光周波数フィルタは、

材3を接合一体化してなるものである。光学媒体1と屈折率調節部材3とは、いずれも互いに平行な2つの端面を有し、光の伝搬が可能な物質からなり、エタロン材料2の温度変化に際して、異なる熱歪と熱応力を発生させ、エタロン材料2の屈折率変化が0となるような物質からなる。そしてこれらは基準温度 T_0 において自然長 ℓ_0 をもって互いに接合され、光の入射方向と接合面とが一致するように一体化されている。

いまここで光学媒体1と屈折率調節部材3の線膨張係数を α_1, α_3 、ヤング率を E_1, E_3 、接合面の断面積を S_1, S_3 とし、エタロン材料2の屈折率を n 、ポアソン比を μ とする。第1図に示したような一体構造においては、温度 $T_0 + T$ において光学媒体1と屈折率調節部材3は互いに力 F を及ぼしあい、一体として伸縮長さ ℓ となる。このとき、光学媒体1と屈折率調節部材3の平均線膨張係数を α とすると、簡単な計算により次式が得られる。

$$F = (\alpha_1 - \alpha_3) T / (1/S_1 E_1 + 1/S_3 E_3) \quad \dots (6)$$

$$\alpha = (1/E)(\partial E / \partial T)$$

$$= (\alpha_1 S_1 E_1 + \alpha_2 S_2 E_2) / (S_1 E_1 + S_2 E_2) \quad \dots (7)$$

ただし、エタロン材料2に働く力は $\alpha_2 > \alpha_1$ のときは張力であり、 $\alpha_2 < \alpha_1$ のときは圧縮力となる。

このとき、熱応力 F/S_1 の効果をも含めたエタロン材料2の透過光周波数の温度変化は次式であらわされる。

$$\begin{aligned} -(1/\nu_n)(d\nu_n/dT) &= (1/E)(\partial E / \partial T) \\ &+ (1/n)(\partial n / \partial T) + (1/n)(\partial n / \partial \sigma)(\partial \sigma / \partial T) \end{aligned} \quad \dots (8)$$

ここで、(8)式右辺第1項は上記(7)式で与えられる平均線膨張係数 α である。右辺第2項は光学媒体1の屈折率の温度変化による項であり、材料固有の値をもつ。右辺第3項は応力 $\sigma = F/S_1$ による屈折率変化である。光学媒体1の光弾性定数を P_{11}, P_{12} とすると、

$$(1/n)(\partial n / \partial \sigma) = (n^3/2E_1)(P_{12} - \mu(P_{11} + P_{12})) \quad \dots (9)$$

また上記(8)式より

人工衛星に組みこまれる望遠鏡やレーザー発振装置などに用いられるアサermalガラス(athermal glass)は

$$(\partial \sigma / \partial T) = -(n-1)\alpha_1 \quad \dots (12)$$

を満たす媒質であって、ATC1, ATF2, ATF4, FCD10等を名付けられたものが開発されている。(いずれも保谷ガラス(株)社製)このようなガラスにおいては屈折率の温度係数が負であるため、応力屈折率と正の線膨張率を相殺して、全体としてエタロン材料の光路長の温度変化を零にすることができる。上記式(12)を式(12)に代入して $S_1 E_1 / S_2 E_2$ について解くと、

$$\begin{aligned} S_1 E_1 / S_2 E_2 &= (n-1-n^3 \Delta/2) + (\alpha_2/\alpha_1)(n^3 \Delta/2-n) \end{aligned} \quad \dots (14)$$

ただし、

$$\Delta = P_{12} - \mu(P_{11} + P_{12}) \quad \dots (15)$$

である。具体的数値例をあげると、光学媒体1としてホヤガラスATC1、屈折率調節部材3として石英を選ぶものとすれば、

$$\alpha_1 = 1.1 \times 10^{-6} [\text{deg}^{-1}], \alpha_2 = 5 \times 10^{-7} [\text{deg}^{-1}]$$

$$(\partial \sigma / \partial T) = F/S_1 T$$

$$= (\alpha_1 - \alpha_2)/S_1 (1/S_1 E_1 + 1/S_2 E_2) \quad \dots (10)$$

よって、

$$\begin{aligned} (1/n)(\partial n / \partial \sigma)(\partial \sigma / \partial T) &= \frac{n^3(\alpha_1 - \alpha_2)}{2(1/S_1 E_1 + 1/S_2 E_2)} (P_{12} - \mu(P_{11} + P_{12})) \end{aligned} \quad \dots (11)$$

本発明の目的は(8)式右辺の値を0とすることによって設計することにある。

すなわち、

$$\begin{aligned} -\frac{\alpha_1(S_1 E_1 / S_2 E_2) + \alpha_2}{S_1 E_1 / S_2 E_2 + 1} + \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial T} + \frac{n^3(\alpha_1 - \alpha_2)}{2(S_1 E_1 / S_2 E_2 + 1)} (P_{12} - \mu(P_{11} + P_{12})) &= 0 \end{aligned} \quad \dots (12)$$

とすることである。

光学媒体1および屈折率調節部材3を定めれば、その断面積 S_1, S_2 以外の値はすべて定まるから、上記(12)式を満たすように S_1, S_2 を定めることにより、温度変化による透過光周波数の変化のない $(\partial \nu / \partial T = 0)$ エタロン材料2すなわち光周波数フィルタが得られる。

このような材料の組み合わせの具体例を以下にあげる。

$$n=1.5, E_1=E_2=7 \times 10^{10} [\text{N/m}^2], P_{11}=0.11,$$

$$P_{12}=0.23, \mu=0.2 \text{ の物性値を代入して}$$

$$S_1/S_2=0.17 \quad \dots (16)$$

を得る。

[実施例]

(実施例1)

第2図は上記設計例における本発明の実施例の具体的構成図であって、半径 r_1 の光学媒体1を中心とし、半径 r_2 の屈折率調節部材3を被覆材とする同心円柱状のエタロン材料2としたものである。このとき、

$$r_2/r_1 = \sqrt{1 + 1/(S_1/S_2)} = 2.6$$

を得る。したがって透過ビーム径を1mmとする場合は、 $r_1 = 0.5 \text{ mm}$ 、 $r_2 = 1.3 \text{ mm}$ とすればよい。

一般にこのような構造を実現可能とするためには、上記(14)式において $S_1 E_1 / S_2 E_2$ の値が正であればよい。そのためには屈折率調節部材の線膨張係数 α_2 はある程度小さくする必要がある。

(実施例2)

屈折率調節部材は必ずしも単一の材料で構成する必要はなく、2つ以上の材料で成してもよい。第3図は本発明の第2の実施例を示したものであって、光学媒体1の外周に屈折率調節部材3-1, 3-2, ..., 3-Nにより多層被覆したものである。屈折率調節部材層3-1, ..., 3-Nの各々の断面積を、それぞれ $S_{0-1}, S_{0-2}, \dots, S_{0-N}$ 、線膨張係数を $\alpha_{0-1}, \alpha_{0-2}, \dots, \alpha_{0-N}$ 、ヤング率を $E_{0-1}, E_{0-2}, \dots, E_{0-N}$ とすると、屈折率調節部材層3-1, ..., 3-Nの平均線膨張係数 α_0 は次式であらわされる。

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{j=1}^N \alpha_{0-j} S_{0-j} E_{0-j}}{\sum_{j=1}^N S_{0-j} E_{0-j}} \quad \dots (17)$$

同様に平均のヤング率 E_0 は

$$E_0 = \frac{\sum_{j=1}^N S_{0-j} E_{0-j}}{\sum_{j=1}^N S_{0-j}} \quad \dots (18)$$

ここで屈折率調節部材層の断面積 S_0 を

$$S_0 = \sum_{j=1}^N S_{0-j} \quad \dots (19)$$

と定義すれば、(12)式あるいは(14)式は一般の多層構造(N層)についてもそのまま成立つ。した

まず光学媒体1からなる出発丸棒6と屈折率調節部材3からなる出発中空パイプ7とをあらかじめ作成しておく。次に出発丸棒6を出発中空パイプ7内に挿入し、バーナー8により加熱して、これらを軟化させて一体化するとともに、図示しない外径測定計により外径をモニタしながら所望径に延伸してエタロン材料2とする。

所定の仕上り径に延伸した後、これを所定の長さで切断し、図示しない端面2-1, 2-2をそれぞれ研磨し、必要に応じて反射膜加工をすればよい。

また第3図に示したように複数の被覆層を有する光周波数フィルタを製造するには、上記のプロセスをくりかえし実行すればよい。このとき液晶プラスチックやシリコンゴムのように、低温工程を必要とするものに対しては適切な温度による工程を用いることはいうまでもない。あるいはまた、屈折率調節部材がアルミナや窒化ケイ素のようなセラミックスの場合には、プラズマ溶射法によって付着・一体化させることもできる。

がって、たとえば負の線膨張係数をもつ液晶プラスチック($\alpha = -6 \times 10^{-6}$ [deg⁻¹], $E = 1.5 \times 10^{10}$ (N/m²))を薄いシリコンゴム層と共に用いるなどの方法により、正から負にわたる平均線膨張率をもつ一体化層を自由に得ることができる。

(実施例3)

第4図は本発明の第3の実施例を示したものである。第4図中、符号4はヤング率が大きく、かつ線膨張率が小さいかまたは負を示すような屈折率調節部材片である。この屈折率調節部材片4は、たとえば繊維(ケブラー繊維や炭素繊維など)あるいは粉体(セラミックスなど)からなり、プラスチック材料または金属材料からなるバインダ5によって光学媒体1を被覆するように一体化されている。

次に上述した各実施例1ないし実施例3の各光周波数フィルタの製造方法について述べる。

第2図に示した本発明の実施例1の光周波数フィルタの製造工程を簡略化して第5図に示した。

[発明の効果]

以上説明したように、本発明の請求項1記載の光周波数フィルタは、光学媒体と屈折率調節部材を一体化したものであるので、光学媒体の屈折率の温度変化を、屈折率調節部材の熱歪、応力歪により相殺することにより、温度変化によるエタロン材料の透過光周波数の変化を無くすことができる。

このような光周波数フィルタは高精度な温度安定化装置を必要とせず、再現性のよい分光測定を可能とし、また、簡易な構成による光周波数多重信号の分波を実現することができるという利点がある。

また本発明の請求項2記載の光周波数フィルタは、光学媒体の外周面に屈折率調節部材を被覆してなるものである。小型化が容易となるばかりでなく、各種光集積回路に好適に利用される光ファイバとの接合が容易となるという利点がある。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の請求項1記載の光周波数フィ

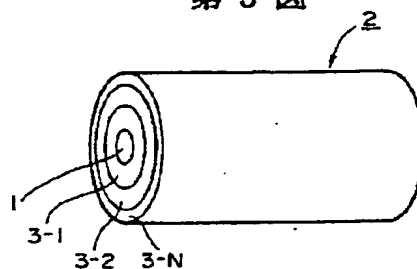
ルタの概略構成図、第2図、第3図および第4図はいずれも本発明の請求項2記載の光周波数フィルタの1実施例の概略構成図、第5図は本発明の請求項2記載の光周波数フィルタの製造方法を示した概略構成図、第6図は従来のファブリ・ペロー・エタロンの動作原理説明図、第7図は第6図に示したファブリ・ペロー・エタロンの通過特性を示したグラフである。

- 1…光学媒体、
- 2…エタロン材料
- 2-1、2-2…エタロン反射面、
- 3…屈折率調節部材、
- 4…屈折率調節部材片、
- 5…バインダ。

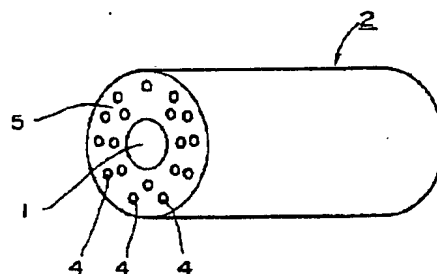
出願人 日本電信電話株式会社
代理人 井理士 志賀正



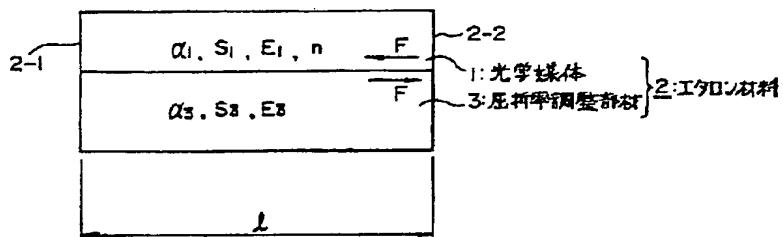
第3図



第4図



第1図



第2図

